

⑫ 公開特許公報(A) 平3-22407

⑬ Int. Cl.⁹

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成3年(1991)1月30日

H 01 L 21/027

2104-5F H 01 L 21/30

3 1 1 L

2104-5F

S

2104-5F

3 0 1 G

2104-5F

C

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全6頁)

⑮ 発明の名称 露光装置

⑯ 特 願 平1-155820

⑰ 出 願 平1(1989)6月20日

⑱ 発 明 者 郷 勝 人 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 発 明 者 植 村 恒 三 郎 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑳ 出 願 人 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

㉑ 代 理 人 弁理士 佐藤 正年

明 細 書

1. 発明の名称

露光装置

2. 特許請求の範囲

可干渉性のパルス光を露光光として発生する光源と、前記露光光をマスク上に照射する照明光学系とを備え、前記マスクのマスクパターンを前記露光光の複数回の照射により被露光体上に転写する露光装置において、

前記露光光により前記被露光体上に発生するスペックルパターンの位置を周期的に移動させる走査を行う移動手段と、

前記移動手段による前記スペックルパターンの走査位置を検出する位置検出手段と、

前記スペックルパターンの前記走査における所定の目標位置において前記光源がパルス発光するように、前記位置検出手段により検出された前記走査位置に従って前記光源のパルス発光時期を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする露光装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、パルス発光する露光光源、例えばエキシマレーザを備えるとともに、この露光光における照度均一化と露光量制御とのための機構を備えた露光装置に関する。

〔従来の技術〕

LSI製造等に用いられる露光装置において露光光としてレーザ光を用いた場合、レーザ光の持つ可干渉性により、照射面上にスペックルと呼ばれる照度ムラ(干渉パターン)を発生する場合がある。この照度ムラは、半導体素子製造におけるパターン線幅コントロールに悪影響を与える。

このスペックルを低減させる手段として、照明光学系中に振動ミラーを設け、これを一定周期で変位させてレーザ光路を少しずつ移動することにより、レーザ光の空間コヒーレンシーを見かけ上低減させる技術が知られている。例えば、エキシマレーザのようなパルス光源では、こうしてレーザ光路を移動させながらパルス発光を行うことに

より、各パルス発光で発生するスペックルパターンがずれて重なり、複数回のパルス発光の後に照射面上の積算照度が平滑化される。

この振動ミラーの駆動方法には、オープンループ制御による駆動方法とクローズドループ制御による駆動方法がある。

ここで、オープンループ制御による駆動方法とは、振動ミラーを位置センサを用いることなしに変位させる方法である。ここで、光源のパルス発光時期は、振動ミラーの変位周期やレーザの最大繰り返し周波数等を考慮して予め適正に設定される。また、クローズドループ制御による駆動方法とは、光源を適当な周波数でパルス発光させるとともに、振動ミラーの変位量を位置センサにより検出することにより振動ミラーを所定の変位量に位置決めし、これに同期させて光源のパルス発光を行う方法である。

〔発明が解決しようとする課題〕

ここで述べた、振動ミラーを一定周期で変位させる方法は、照射面上の積算照度の平滑化に対し

効果を持つ。しかし、この種の用途に使われる振動ミラーの振幅はわずかなものであり、この小さな振幅中に多数回のパルス発光時期が設定されるから、これらの方法では実用上の問題を残す。すなわち、オープンループ制御による駆動方法では振動ミラーの変位が、振動ミラー駆動素子への指令入力値に対して線形（リニア）でなかったり、ヒステリシスを持つ場合、振動ミラーの振幅中での発光位置の分布が偏り易いため、照射面上の積算照度が十分に平滑化されない。

また、クローズドループ制御による駆動方法では、位置センサの検出信号をフィードバックして振動ミラーを目標位置に位置決めすることに時間を要するため、光源の発光周波数を高く設定できない。例えば、エキシマレーザが今後、より高い周波数でパルス発光できるようになっても、この高い周波数を生かせない。すなわち、装置のスループットの向上を制限してしまう。

本発明は、これらの問題点に鑑みてなされたもので、スペックル移動手段とその制御手段とをよ

3

り簡素に構成するとともに、より効率的に照射面上の積算照度を平滑化させる。すなわち、より均一な露光作業を可能とする露光装置を提供することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

本発明に係る露光装置は、可干渉性の露光光をパルス発光する光源と、露光光をマスク上に照射する照明光学系とを備え、マスクのマスクパターンを露光光の複数回の照射により被露光体上に転写する露光装置において、

露光光により被露光体上に発生するスペックルパターンの位置を周期的に移動させる走査を行う移動手段と、

移動手段によるスペックルパターンの走査位置を検出する位置検出手段と、

スペックルパターンの走査における所定の目標位置において光源がパルス発光するように、位置検出手段により検出された走査位置に従って光源のパルス発光時期を制御する制御手段とを備える。

5

4

〔作用〕

本発明に係る露光装置において、外部トリガ方式の光源は、可干渉性のパルス光を露光光として発生する。また、照明光学系が露光光をマスク上に導き照射する。これにより、マスクのマスクパターンが被露光体上に転写される。また、1回の露光転写には、露光光の複数（数十以上）のパルスがマスクに照射されて行われる。このとき、可干渉性の露光光は、被露光体上にスペックルパターン（例えば、一次元の干渉縞）を発生してしまう。

本発明に係る露光装置の移動手段は、スペックルパターンの発生位置を被露光体上で周期的に移動させる走査を行う。また、位置検出手段は、例えば移動手段の変位を検出することにより、スペックルパターンの走査位置を検出する。

本発明に係る露光装置において、制御手段は、予め定められたスペックルパターンの走査における所定の目標位置において光源をパルス発光させる。すなわち、位置検出手段により検出された走

6

査位置と目標位置とを比較し、一致したときに光源に対し発光トリガを出力する。

【発明の実施例】

本発明の実施例を図面を参照して説明する。

第1図は、本実施例の露光装置であり、レチクル（マスクと同義）Rのパターンを、被露光体であるウェハWに転写する。また、露光光の被照射面上に現れるスペックルパターンは、所定期期で振動する振動ミラー3により走査される。

第2図は、第1図に示す実施例の露光装置におけるパルスレーザ光源1の制御の様子を示すブロック図である。ここで、制御手段は、トリガ制御部11とコントローラ7とからなり、パルスレーザ光源1は、トリガ制御部11からトリガ信号を受けてレーザ光（露光光）を発生し、振動ミラー3（スペックルの移動手段）は、露光動作を制御するコントローラ7からのミラー制御信号に従って駆動される。

本実施例は、振動ミラー3の変位量によりスペックルパターンの走査位置が検出される構成で、

位置検出部10（位置検出手段）により振動ミラー3の変位量が検出されてトリガ制御部11にミラー位置信号として送出される。従って、トリガ制御部11は、コントローラ7からの基礎データ（露光条件等）に応じて定められる目標ミラー位置とミラー位置信号とを比較して、次々にトリガ信号をパルスレーザ光源1に送出する。

第1図において、ウェハWは、投影レンズ6を介してレチクルRと対向する。また、パルスレーザ光源1から発射された露光光は、ビームエキスパンダ2により断面を正方形に整形された後に振動ミラー3で反射され、フライアイレンズ4とコンデンサレンズ5とを介してレチクルR上の所定領域を照明する。

フライアイレンズ4は、入射光をその断面内で分割して、コンデンサレンズ5を介して所定領域上で重ね合わせることで露光光の断面密度を均一化させるものである。しかし、エキシマレーザ光のように完全にインコヒーレントではなく、ある程度空間的コヒーレンシーの高い露光光の場

7

合、フライアイレンズ4を構成する各ロッドレンズから出射する露光光は、互いに交差し合い干渉してレチクルR面上に明暗の干渉縞パターンを形成する。そして、レチクルR面上の明暗パターンは、投影レンズ6によりウェハWに転写されるから、ウェハW面上でも同様な干渉縞が発生する。

エキシマレーザは、パルスあたりのエネルギーのばらつきが大きく、通常、複数回のパルス発光を重ね合わせて積算エネルギーを平均化させる。これにより、露光量制御の精度を達成する。

振動ミラー3が固定している場合、複数回のパルス発光の間ずっと、ウェハ面上の干渉縞パターンも同じ位置に固定されるから、常に同じ干渉縞パターンが照射重畳されて露光量密度の均一性を損なう。このときの露光量密度の分布（干渉縞を横切る方向の分布）は、第3図(b)となった。ウェハ上の露光領域を横切って周期 Y_p のうねりを持ち、1回のパルス発光によるスペックルパターンと対応したばらつきを有する。

振動ミラー3の傾きが異なれば、すなわち、フ

8

ライアイレンズ4へのパルス光の入射角が異なれば、1パルスの発光の毎に周期 Y_p のうねりのピークが左右にずれるから、例えば、この振動ミラーを適正に変位させて各パルス発光ごとの露光量ピークをほぼ等間隔で干渉縞を横切る方向に移動させ、露光終了時に丁度周期 Y_p だけ移動するように制御すれば、効率的な露光量分布の平滑化が達成される。この方式により平滑化されたウェハW上の露光量分布を第3図(b)に示す。

ウェハW上でスペックルパターンを周期 Y_p だけ移動するための振動ミラー3の変位量 ΔM は、照明光学系の構成と投影レンズとにより異なった値となるが、振動ミラー3を一定量変位させて露光量分布をとる実験により容易に測定される（例えば、ウェハステージ上に設けた撮像素子により干渉縞を撮像して、そのピッチを求める等）。また、周期 Y_p のスペックルパターン移動に対し、露光量分布の平滑化のために最低限必要なパルス発光回数 n_{min} は、パルス発光回数 n を適当に設定して同様な露光量分布をとる実験により測定さ

れる。つまり、発光回数 $n >$ 最低発光回数 n_{\min} の場合であれば、照度分布上のリップルを抑えた露光が可能である。

コントローラ 7 は、予め測定された変位量 ΔM と、必要な露光量に対応するパルス発光回数 n とから、次式により 1 パルス発光あたりのミラー変位量 Δm を算出してトリガ制御部 11 に発光スレッシュホールドレベルとして n 個の目標ミラー変位位置 m を設定する。

$$\Delta m = \Delta M / n$$

$$m = \Delta m \times 1, \Delta m \times 2, \dots, \Delta m \times n$$

一方、コントローラ 7 は、所定のプログラムに従ってドライバ 8 にミラー制御信号を送出し、ドライバ 8 は、この制御信号を増幅してミラー駆動素子である圧電素子 9 に印加する。振動ミラー 3 は、この印加電圧に応じて変位する。

振動ミラー 3 の変位は、振動ミラー 3 に取り付けられた静電容量式センサ等の位置検出部 10 によりモニタされ、ミラー位置信号としてトリガ制御部 11 に送出される。トリガ制御部 11 は、前

述の n 個の目標ミラー変位位置 m とミラー位置信号とを比較し、一致した瞬間に、パルスレーザ光源 1 に発光トリガを送出する。こうして、 n 個の目標ミラー変位位置 m においてパルス発光が行われて照射面上の積算露光量分布が平滑化される。

第 4 図は、振動ミラー 3 の一駆動例で、コントローラ 7 は、単純増加または単純減少するミラー制御信号（第 4 図中の破線）を送出し、振動ミラー 3 は、この制御信号と、圧電素子 9 の特性とに応じた変位軌跡（第 4 図中の実線）を示す。ここで、圧電素子 9 は、印加電圧に対してリニアな変位を示さず、また、ヒステリシスを有するから、それぞれのパルス発光の行われる時期 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ は、正確には等間隔ではない。

しかしながら、予め測定した圧電素子 9 の非線形な特性を考慮して、それを補正して線形にするような制御信号をコントローラ 7 から送出させ、第 4 図中、点線で示されるような線形な振動ミラー 3 駆動を行うことも可能である。このとき、各パルス発光の行われる時期 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ は等

1 1

間隔となるため、その間隔をレーザの最小発光周期に近ずけることでスループットを低下させることなく露光量分布を平滑化させることができる。

第 5 図は、振動ミラー 3 の別の駆動例で、振動ミラー 3 は不連続な階段状の変位軌跡を持つ。

本駆動例は、各階段ステップの立ち上がり間隔を揃えれば、各パルス発光の間隔が揃うという特徴がある。コントローラ 7 は、圧電素子 9 のヒステリシス特性を加味して制御信号を出力し、各階段ステップの立ち上がり、もしくは立ち下がり整定時には必ず次の目標ミラー変位位置 m を横切っていて（オーバーシュート、アンダーシュートに左右されない）、また、立ち上がりの間隔をパルスレーザ光源 1 の最小発光周期近くに設定することにより、パルスレーザ光源 1 の最大発光周波数を用いた効率的な露光が可能となる。

以上のように本実施例によれば、液照射面で発生するスペックル、特に 1 次元や 2 次元の干渉縞のように一定の周期を持ったものに対して、その 1 周期内で干渉縞を一定微小量ずつ移動させるこ

1 2

とにより、複数回のパルス発光による平滑化を、ランダムに干渉縞を移動させる場合に比べ格段に効率良く行うことが可能である。ここで、位置決め制御系は簡素な構成であり、露光装置のスループットも低下しない。

本実施例の露光装置は、この露光量分布の平滑化機構と光量検出系等を持つ露光量制御機構とを組み合わせることで、所望の露光量を所望の均一性で照射面上に制御することが可能である。

【発明の効果】

本発明に係る露光装置においては、可干渉性の露光光を用いることにより被露光体上に発生するスペックルパターンを移動手段により周期的に移動させるから、被露光体上における積算の露光量分布は平滑化される。

また、1 回の露光転写に必要な複数回の露光光のパルス照射は、スペックルパターンの走査において予め定められた複数個の目標位置で行われるから、毎回の露光転写においてスペックルパターン低減の効果が再現性高く得られる。ここで、目

標位置は、スペックルパターンの移動による積分露光量分布の平滑化が最適に行われるように設定されるから、被露光体上に発生するスペックルパターンの影響を最小にできる。

本発明に係る露光装置においては、制御手段が予め定められたスペックルパターンの目標位置において光源をパルス発光させる構成、すなわち、基本的に光源だけが制御される構成である。従って、移動手段や位置検出手段の構成と動作とは、相当に自由な選択が可能で、簡略なものを選択して高速度な走査を行わせることが可能である。これにより、光源の高い周波数でのパルス発光にも容易に対応できる。

本発明に係る露光装置は、位置検出手段により検出されたスペックルの走査位置と目標位置とを比較し、一致したときに光源に対し発光トリガを出力するという極めて単純な動作により、これらの効果を奏するものである。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の実施例の投影露光装置の概

略な構成を示す模式図である。

第2図は、本発明の実施例の投影露光装置における光源の制御を説明する模式図である。

第3図は、本発明の実施例の投影露光装置における振動ミラー3の効果を示し、(a)は、振動ミラー3固定時の露光量分布の線図、(b)は、振動ミラー3動作時の露光量分布の線図である。

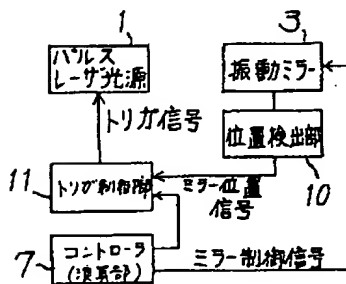
第4図は、本発明の実施例の投影露光装置における振動ミラー3の作動例を示す、振動ミラー3軌跡の線図である。

第5図は、本発明の実施例の投影露光装置における振動ミラー3の別の作動例を示す、振動ミラー3軌跡の線図である。

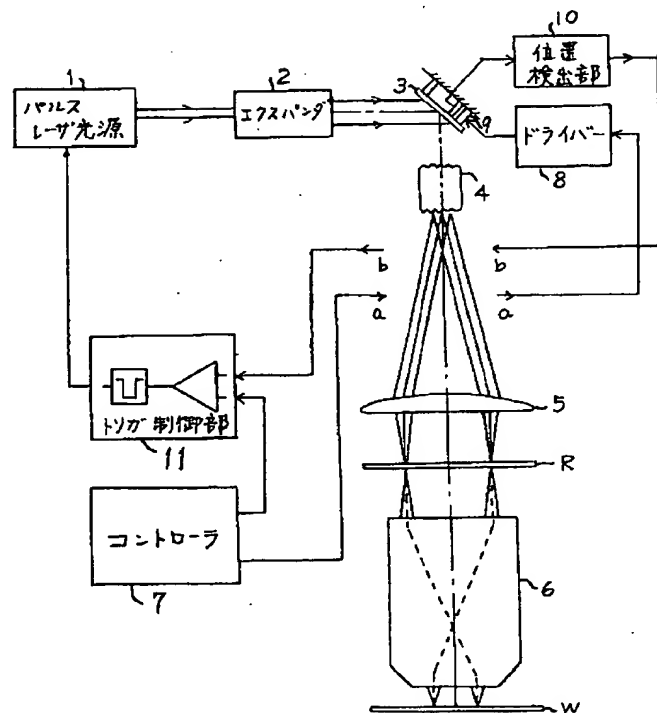
【主要部分の符号の説明】

- | | |
|------------|------------|
| 1…パルスレーザ光源 | 3…振動ミラー |
| 4…フライアイレンズ | 5…コンデンサレンズ |
| 7…コントローラ | 10…位置検出部 |
| 11…トリガ制御部 | R…レチクル |
| W…ウェハ | |

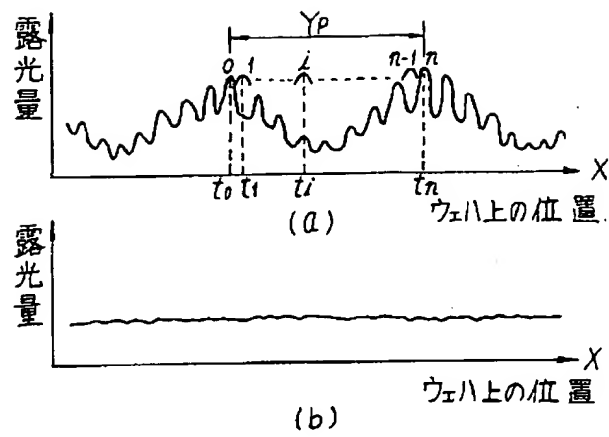
代理人 弁理士 佐藤正年



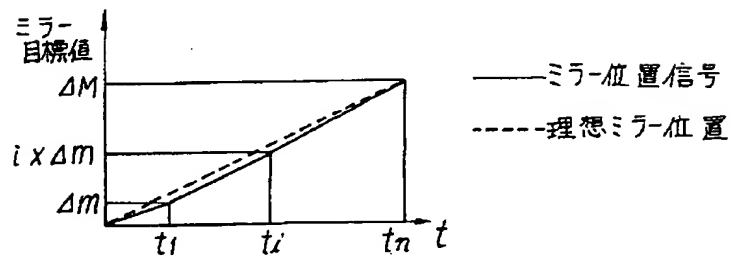
第2図



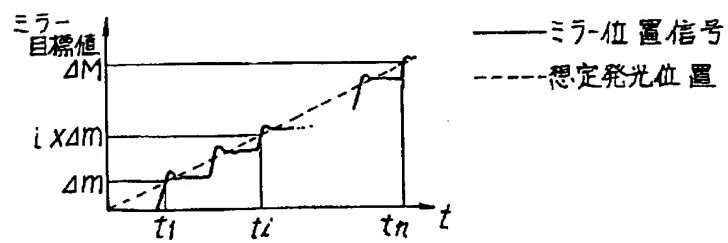
第1図



第 3 図



第 4 図



第 5 図